

高周波ノイズ用の電源 フィルタで、オペアンプの PSRR 性能を補償する

著者：祖父江達也、峰野太喜

本稿では、オペアンプの電源用のフィルタ回路を紹介します。これを利用することで、オペアンプに供給する電源のノイズ成分を低減することができます。特に高周波のノイズ成分に対して有効に働くため、オペアンプの PSRR 特性が抱える弱点を補うことが可能になります。

高周波の電源ノイズに弱いオペアンプ

本稿で紹介する回路は、オペアンプ IC の電源ラインに挿入することで、電源ノイズがオペアンプに与える悪影響を低減するためのものです。詳細は後述しますが、この回路はローパス・フィルタの一種です。

一般に、オペアンプ IC には PSRR（電源電圧変動除去比）という仕様が規定されています。これはオペアンプに供給されている電源電圧が変動したときに、オペアンプの出力にどの程度の影響が及ぶかを表す指標です。dB 単位で表される PSRR の値が大きいほど、ノイズの影響が出力に現れにくく、電源電圧の変動に対して安定した性能が得られます。なお、PSRR を出力電圧で表そうとすると、オペアンプ回路の利得によって値が変化してしまいます。そのため、実際のオペアンプ IC のデータシートでは入力電圧に換算した値が記載されています。

図 1 をご覧ください。この例のように、PSRR は周波数特性を持ちます。オペアンプ IC に供給する電源に重畳されたノイズの周波数が高いほど、そのノイズの影響を除去する性能が低下します。言い換えれば、ノイズの周波数が高いほど、ノイズの影響が現れやすくなる傾向があるということです。また、図 1 の例からも読み取れるように、正負の電源のうち、どちらにノイズが存在するのかによっても PSRR 特性には差が出ます。この点もオペアンプを使う際に配慮すべきポイントです。さらに、PSRR は温度の変化によって変動するので、この点についての注意も必要です。

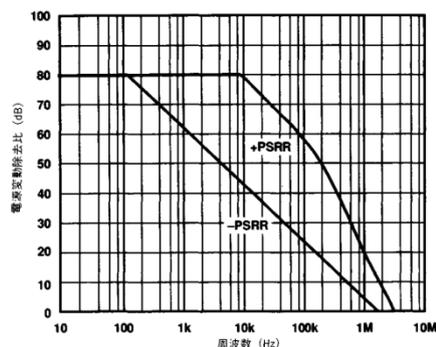


図 1 PSRR の周波数特性

アナログ・デバイゼスの高精度/低消費電力のオペアンプ IC「AD822」の PSRR を例として示した。周波数が高くなるほど PSRR は低下する。また、正負電源のうちどちらにノイズが存在するのかによって PSRR の特性は異なる。

ローパス・フィルタで電源ノイズを除去

上述したように、オペアンプは周波数の高い電源ノイズに弱いと言うことができます。これについては、オペアンプの電源ラインにローパス・フィルタを挿入することで対処できます。すなわち、ローパス・フィルタによって周波数の高いノイズを除去することで、オペアンプに加わるノイズを削減し、PSRR の劣化を補償するということです。本稿で紹介するのは、このような目的に対応する回路です。なお、先述したように、正負電源のうちどちらにノイズが存在するのかによって PSRR 特性には差が出ます。本稿では、正側の電源について考えてみることにします。

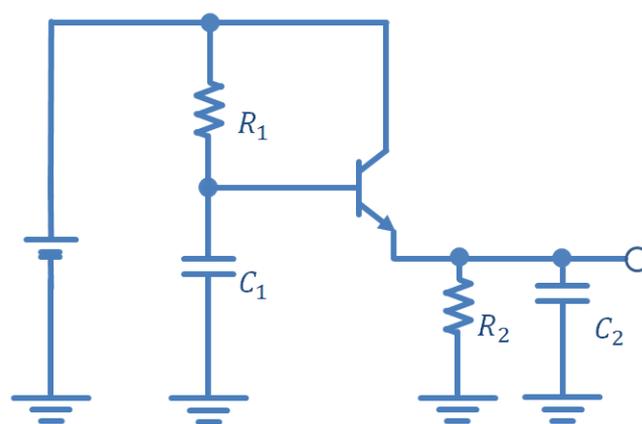


図 2 PSRR の問題を改善するための

ローパス・フィルタ

このフィルタの出力をオペアンプ IC の正電源に供給する。

図 2 に示したのが、本稿で紹介するローパス・フィルタの回路図です。ご覧のように、抵抗とコンデンサを使用して、コレクタ接地（エミッタ・フォロワ）のトランジスタ回路を構成しています。ローパス・フィルタとしての機能は、抵抗 R1 とコンデンサ C1 を介してトランジスタを駆動するという構成で実現していま

す。そのカットオフ周波数は R1 と C1 の値によって設定することができます。

図2のトランジスタに対して電源からリップル・ノイズが混入した場合でも、R1 と C1 で作られるローパス・フィルタによって、ベース電圧は一定に保たれます。そのため、コレクタ・エミッタ電圧がリップル・ノイズで変化しても、コレクタ電流は変化しません。結果的に、エミッタ電圧からはリップル・ノイズが取り除かれた電源電圧成分が出力されます。

RC で構成されるローパス・フィルタとの違いは、次段の負荷の変動に強いことがあげられます。RC で構成されるローパス・フィルタは次段の負荷が低いと入力電圧が RC の抵抗と負荷で分圧されてしまいますが、エミッタ・フォロア回路は出力インピーダンスが低いため、負荷が小さくても安定した電圧を供給することができます。

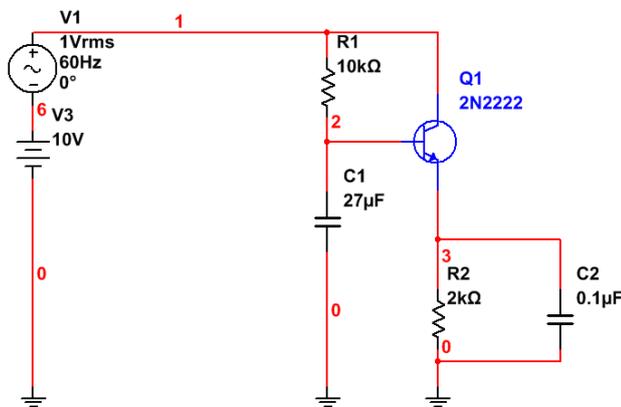


図 3a シミュレーションに使用した回路

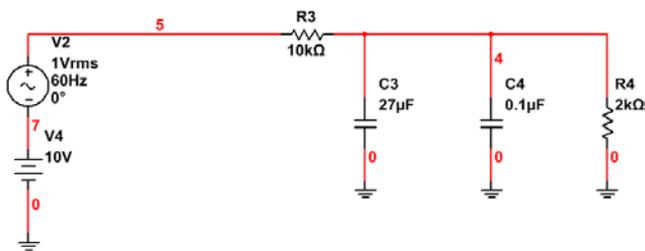


図 3b 比較のための RC ローパス・フィルタ回路

それではシミュレータで、この回路の特性を確かめてみましょう。シミュレーションには図 3a の回路を使用し、R1 の値は 20kΩ、C1 の値は 1μF としました。トランジスタについては、シミュレータの標準ライブラリに用意されていた「2N2222」を使用しました。これは少々古い品種で、コレクタ容量 Cob は 8pF、直流電流増幅率 hFE はコレクタ電流 IC が 10mA のときに 75 となっています。

今回、リップル・ノイズとして、60Hz を仮定して、R1、C1 の値を決めていきます。60Hz を 40dB ほど減衰させたいとすると、コーナー周波数は 0.6Hz となります。よって、R1 に 10kΩ、C1 に 27μF を設定します。また、エミッタ抵抗として 2kΩ、高周波側の特性改善のために、0.1μF を並列に入れます。

また、比較として、同じ定数を用いた RC のローパス・フィルタ図 3b を用意し、こちらも計算していきます。

入力電圧として、10V の電源に 1Vrms をリップル・ノイズとして混入した場合の AC 特性のシミュレーション結果は図 4 のようになりました。ご覧のとおり、ローパス・フィルタの特性が得られています。60Hz 程度でゲインは -40dB であり、期待通りの性能となっていることがわかります。

また、RC だけで構成したローパス・フィルタとの違いについてですが、DC 極限において、トランジスタを用いた回路が 0dB に近づくのに対し、RC だけを用いた回路は分圧により -16dB(1/6) となってしまうことです。

このトランジスタを用いた回路をオペアンプ IC の電源ラインに挿入することにより、高い周波数のノイズを低減することができます。オペアンプ IC の見かけ上の PSRR 特性を改善することができます。オペアンプ IC と電源の間に距離がある基板や、デジタル回路を混載する基板など、オペアンプ IC に供給される電源にノイズが乗りやすいケースに有効です。

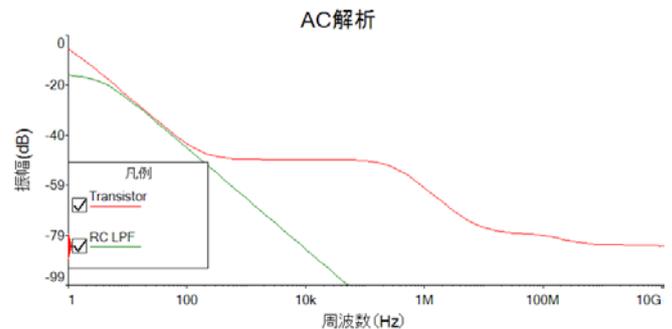


図 4 ローパス・フィルタの出力の周波数特性

横軸は周波数で単位は Hz、
縦軸は入出力間の振幅の比で単位は dB。

供給電圧の変動に対する処置

トランジスタのエミッタには、内部抵抗 r_e が存在します。この内部抵抗の値は、以下の式で表されるように、コレクタ電流 IC の値に依存して変化します。

$$r_e = 26 \text{ [mV]} / I_C \text{ [mA]}$$

ここで、26 mV は $T=27^\circ\text{C}$ における熱電圧 kT/q の値です。このように r_e が変動するという事は、次のようなことを意味します。それは、オペアンプの消費電流が動的に増減する、つまりはその供給源である IC が増減することで、 r_e が変動し、 r_e によって生じる電圧降下の量が変動するという事です。その結果として、オペアンプに供給される電源電圧にも変動が生じてしまいます。この変動の影響を抑えるには、トランジスタのエミッタ出力と並列に、抵抗とコンデンサ (図 2 で言えば R2 と C2) を追加する方法が有効です。